

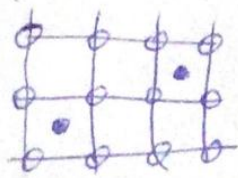
Chap 2: Transformations au cours du revenu (Tempering)

Trempeabilité des aciers

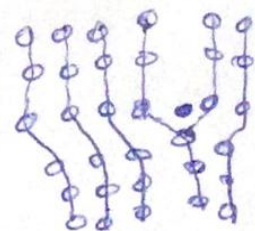
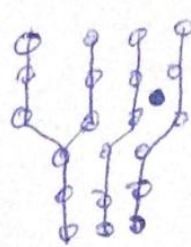
I- Revenu, Tempering, Tempra

Après austémisation de l'acier et trempe vers la T° ambiante, on va qu'il y'a formation de la martensite très dure mais fragile à cause du blocage du m^{VG} de dislocations par les atomes de carbone en excès. Cette phase de structure tétragonale centrée n'est pas utilisable en pratique.

Pour réduire sa fragilité par diminution des contraintes internes causées par durcissement, un traitement thermique dit de revenu est nécessaire.

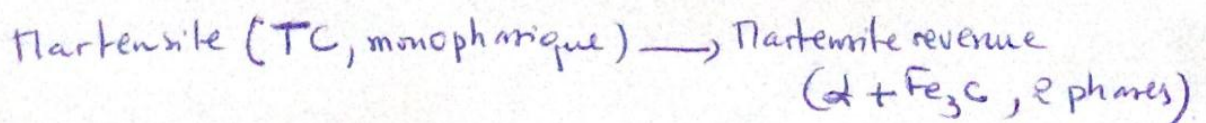


solution interstitielle



blocage du m^{VG} de la dislocation par l'atome en site interstitiel.

Le revenu est réalisé à des températures $< T_E$ dans l'intervalle $250 - 650^{\circ}C$. Le traitement thermique permet la formation de la martensite revenue (tempered martensite) par un processus de diffusion selon la réaction :



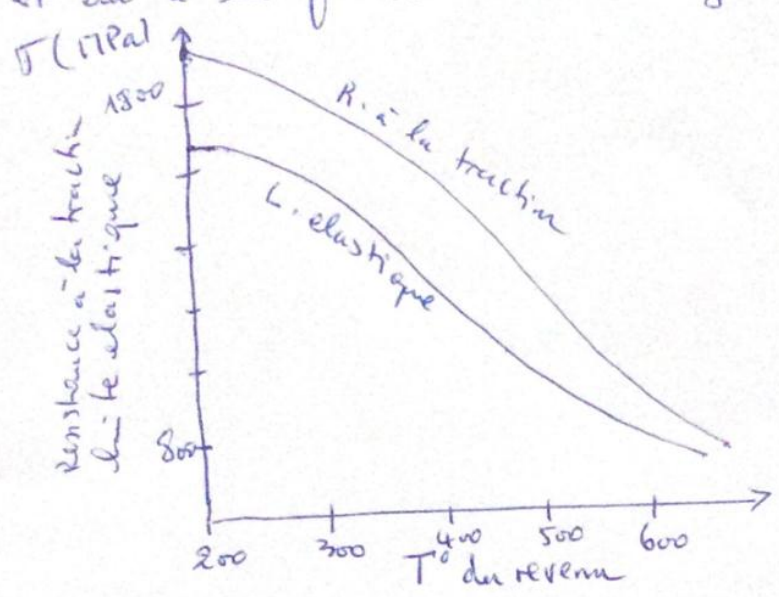
L'excès de carbone diffusera pour former la cémentite Fe_3C et stabiliser la phase α du fer.

②

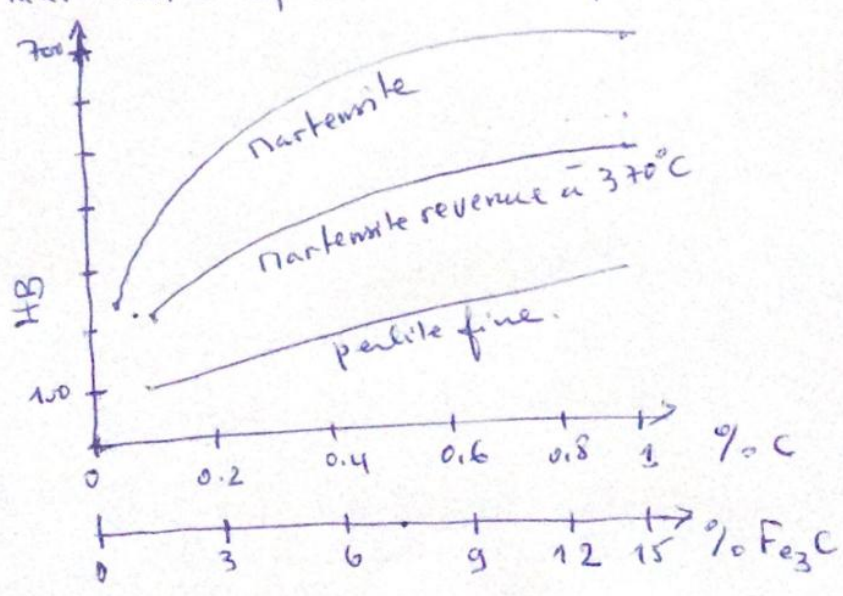
Plus la T° du revenu est élevée ($\sim 600^\circ\text{C}$), plus il y a réduction de :

- la dureté
- la résistance à la traction
- la limite élastique
- l'allongement relatif.

Ce résultat est dû à la formation du mélange $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$.

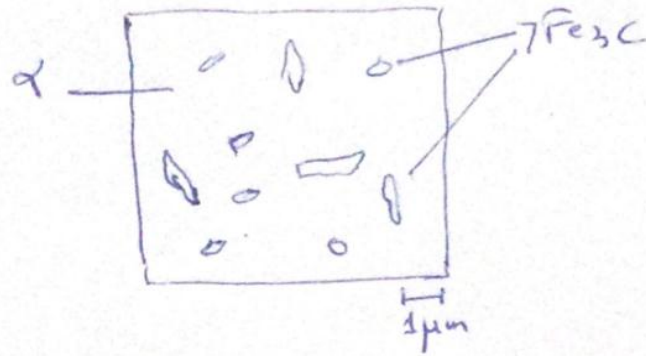


La dureté de la martensite après revenu dépend de la concentration du carbone.

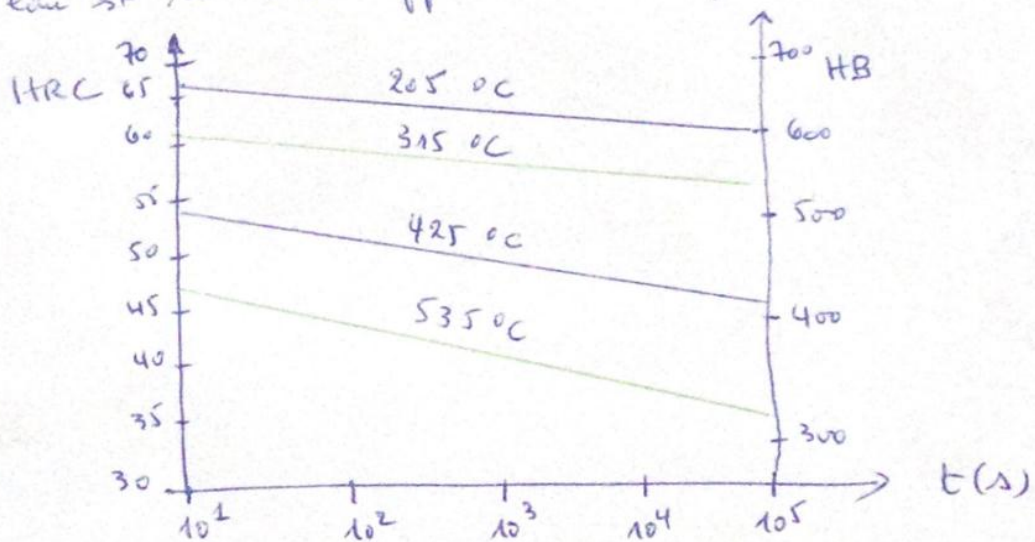


La durée et la température du revenu sont combinées de façon à avoir un produit final répondant à des exigences particulières.

La microstructure de la martensite après revenu consiste en de ③
très petites particules de cémentite Fe_3C dispersées uniformément dans
la matrice de la ferrite α . Cette microstructure est similaire à
celle de la sphérodite mais avec des particules Fe_3C beaucoup plus
petites (Voir photo MEB) (ordre de ~ 50 fois).



La dureté dépend aussi de la durée du revenu. Pour un acier antectoïde
trempé à l'eau et revenu à différents revenus, on a :



Selon les conditions du revenu, le problème de fragilisation peut être
rencontré dans les aciers. Ceci pourra avoir lieu ~~par~~ Si :

- l'air ou refroidissement lent après revenu entre 400 et 660°C.
- trempé après revenu entre 250 et 400°C.
- l'acier contient des éléments d'alliage comme Mn, Ni ou Cr avec
des quantités appréciables, et aussi ~~par~~ en présence d'impuretés
en faibles quantités de Sb (antimoine), P (phosphore), As (arsenic) et
Sn (d'étain) ~~et~~.

Ce problème de fragilisation par revenu peut être évité par :

- Un contrôle de la composition de l'acier
- Contrôle de la vitesse de refroidissement
- L'addition d'éléments comme Nb, Ti, Zr et W.

* Noter enfin que le revenu à des T° très élevés ou pendant des temps élevés conduit à :

- La sphéroïdisation de la cémentite Fe_3C
- Le grossissement des grains de ferrite α .
- La réduction de la dureté et de la ténacité
- L'amélioration de la ~~ductilité~~ ^{résistance} (dans certains cas).

* Dans les aciers fortement alliés, la martensite résiduelle peut décomposer _{autour de}

II - Trempabilité des aciers & Hardenabilité

Nous avons vu qu'après obtention de la martensite par trempe qu'il est possible d'avoir une meilleure combinaison ductilité-résistance par un traitement de revenu (martensite revenue).

Le problème qui se pose est l'obtention de cette martensite ~~et~~ ^{par} ~~sa~~ ^{l'obtention} au cœur (centre) des pièces volumineuses, au lieu de la surface.

La trempabilité des aciers est l'aptitude d'obtention de la martensite en profondeur lors des refroidissements lents.

L'acier simple (non allié) présente une faible trempabilité.

Pour un traitement thermique ^{donné} spécifique, la trempabilité consiste à durcir le matériau (l'acier) par la formation de la martensite. C'est une mesure qualitative de la vitesse de refroidissement à laquelle la dureté diminue avec la distance à l'intérieur de l'échantillon par diminution de la teneur en martensite.

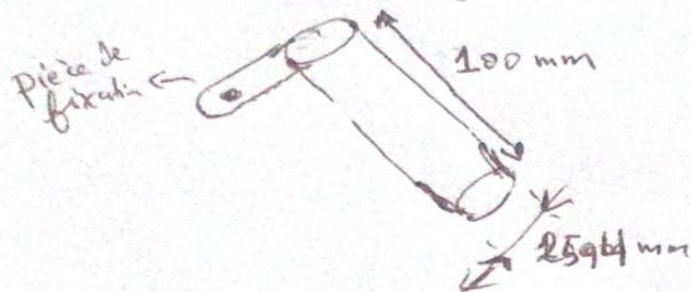
↓ vers

Elle peut être améliorée par l'augmentation de la teneur du carbone et l'addition d'élément d'alliage (surtout le cobalt). Les plus utilisés sont Mn, Cr et Mo. Elle est aussi améliorée par l'augmentation de la taille des grains.

Une des expériences les plus utilisées pour l'étude de la trempabilité est l'essai Jominy (1937, métallurgiste Américain). (5)

Elle consiste à étudier l'effet de la composition chimique de l'acier sur la trempabilité en considérant les autres paramètres (taille de l'échantillon et traitement de trempe) constant.

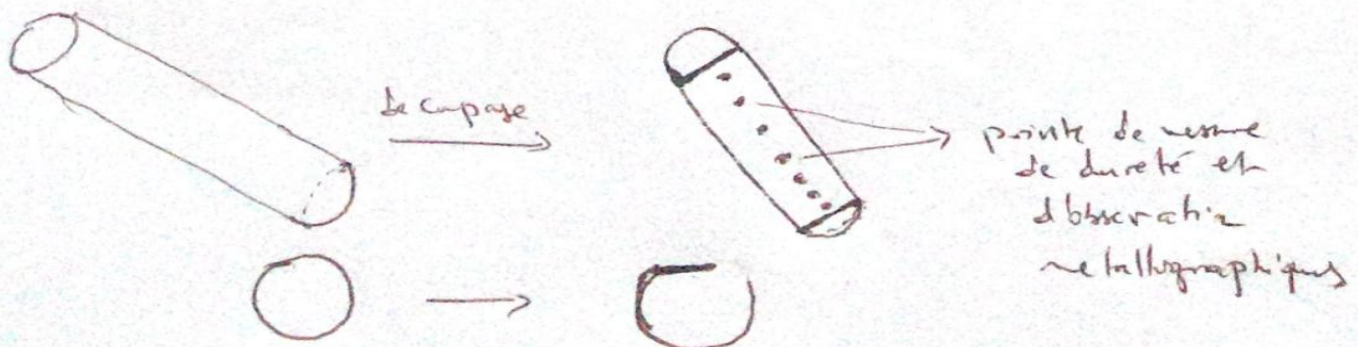
L'éprouvette Jominy est un cylindre :



cette éprouvette est soumise à l'austérisation et après être tirée du four, elle est fixée sur un dispositif qui permet de refroidir l'extrémité inférieure par un jet d'eau de $T^{\circ} \approx 25^{\circ}\text{C}$.

Après refroidissement par évacuation axiale de la chaleur, l'éprouvette aura différentes vitesses de refroidissement le long du cylindre, et donc différentes transformations au cours du temps en fonction de la distance à partir de l'extrémité inférieure.

L'éprouvette est ensuite découpée, polie (pour éliminer les scories), polie (papier verre, pâte diamantée), attaquée chimiquement (NITAL, acide nitrique et alcool) et soumise à des tests de dureté et d'observation métallographique en fonction de la distance, donc en fonction de la vitesse de refroidissement.



L'allure générale de la courbe de dureté en fonction de la distance à partir de l'extrémité trempée (distance Joumy) est de la forme :

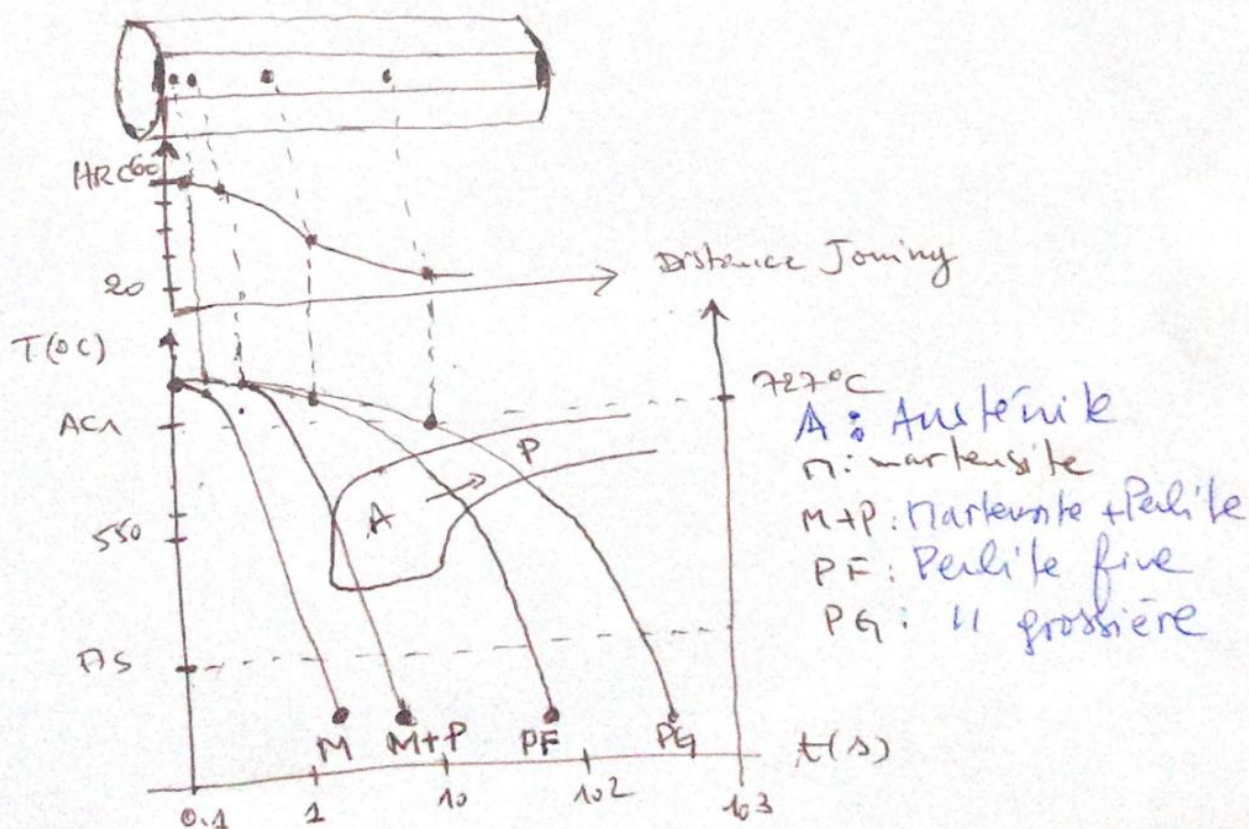


L'extrémité inférieure est refroidie ~~rapidement~~ (trempé) $\rightarrow$ 100% Martensite. La vitesse de refroid. diminue avec la distance $\rightarrow$ le carbone peut diffuser pour former la perlite ^{barite} et donc la dureté doit diminuer.

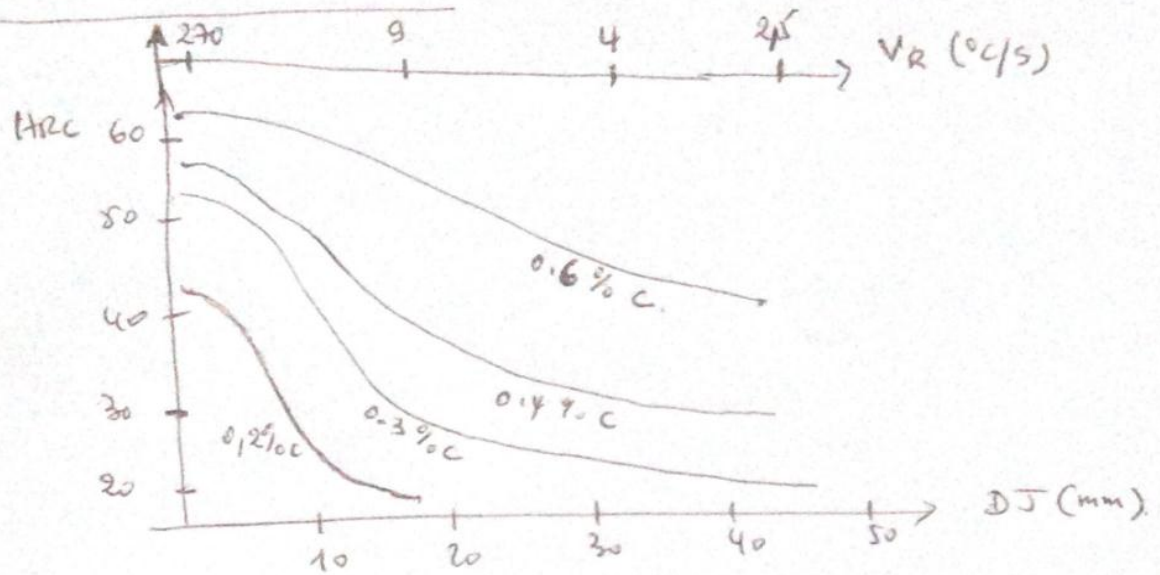
Selon la vitesse, on aura formation combinée de : Martensite, barite et perlite.

La trempabilité de l'acier consiste alors à obtenir des échantillons durs sur un maximum de ~~la~~ distance. Ceci dépend essentiellement de sa composition chimique.

(1 - Effet de la teneur de carbone) Pour l'acier eutectoïde, combiné avec le diagramme TRC, on aura les courbes de refroid. suivantes :



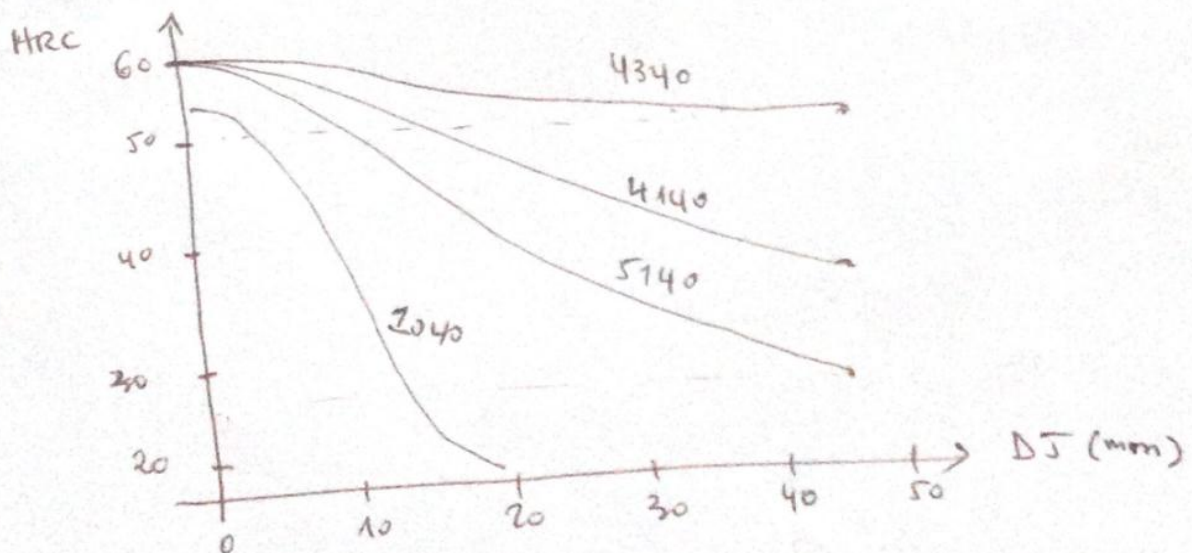
1. Effet de la teneur en carbone



2. Effet des éléments d'alliage

Soit une série d'aciers à teneur en carbone = 0.4% C.

4340 : 1.85% Ni, 0.8% Cr, 0.25% Mo
 4140 : 1% Cr, 0.2% Mo
 5140 : 0.85% Cr
 1040 : acier non allié



Les éléments d'alliage agissent donc grandement la trempabilité des aciers.

3 - Effet du milieu de trempe, taille de l'échantillon.

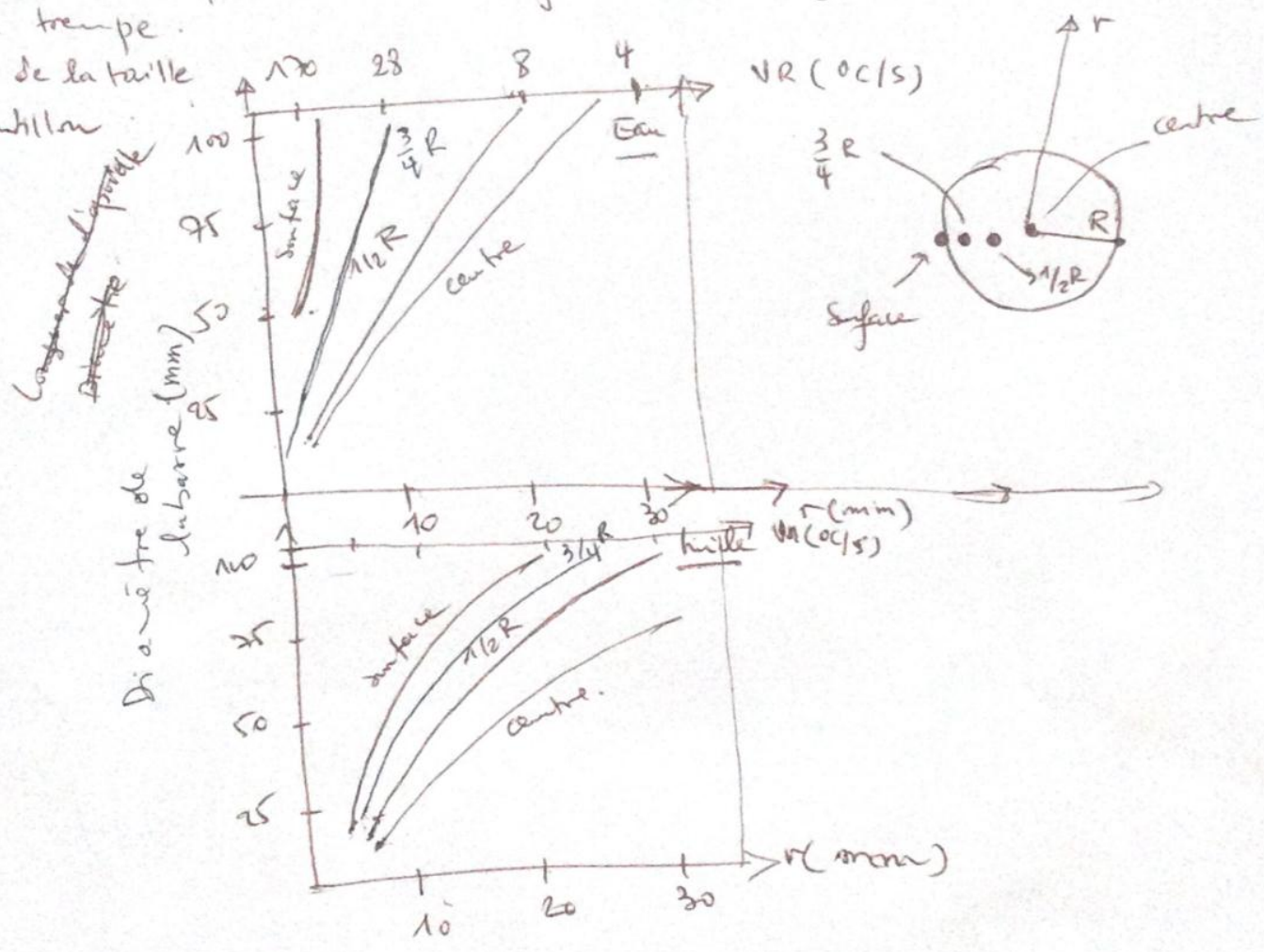
La sévérité de la trempe dépend du milieu de trempe & les plus utilisés sont :

Eau, huile, air

← Sévérité

Cette sévérité peut être aussi augmentée par agitation du milieu de trempe.

4 - Effet de la taille de l'échantillon



La sévérité est estimée par le facteur $H = \frac{f}{K} \text{ (m}^{-2}\text{)}$

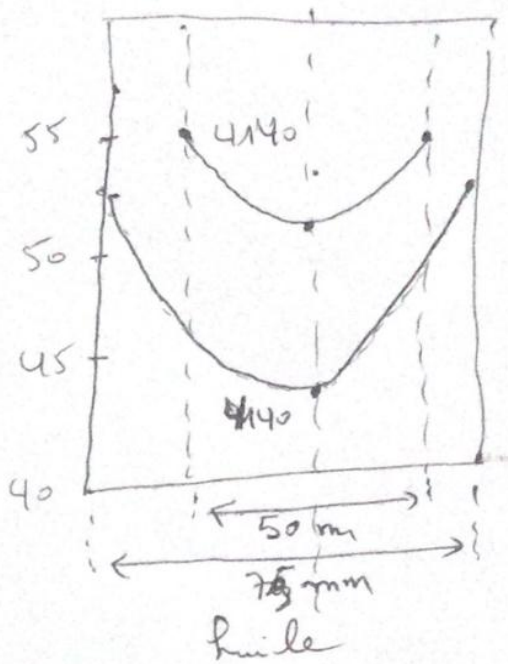
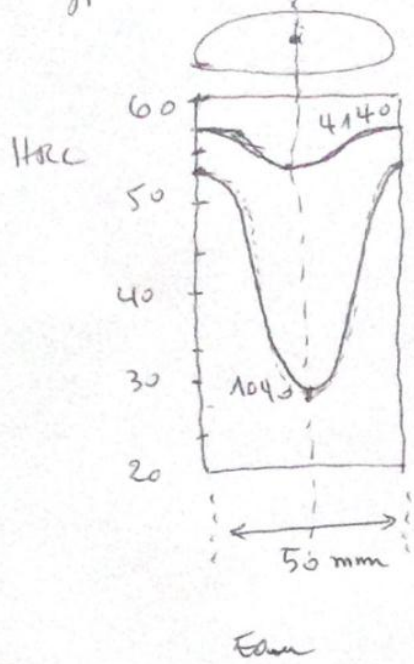
f : facteur de transfert thermique

K : conductivité thermique

Air	sans agitation	$H \rightarrow 0,02$
		$\rightarrow 0,2$
		agitation faible $\rightarrow 0,35$
		" moyenne $\rightarrow 0,5$
		" forte $\rightarrow 0,7$
Eau	sans agitation	$\rightarrow 1$
	agitation forte	$\rightarrow 1,5$
Eau saturée au sel	sans agitation	$\rightarrow 2,0$
	agitation forte	$\rightarrow 5,0$

5 ~~Le~~ Profil de la dureté à l'intérieur du cylindre, ^{elle} dépend du diamètre de la pièce, du type d'acier et de la profondeur et du milieu de trempe ?

(9)



4140 : 1% Cr, 0,2% Ni ($\%C = 0,4$)
 1040 : non allié ($\%C = 0,4$)

